



TITLE:

Dynamics of Combined System of Gravitating Particles and Gas(Abstract_要旨)

AUTHOR(S):

Niimi, Hideyuki

CITATION:

Niimi, Hideyuki. Dynamics of Combined System of Gravitating Particles and Gas. 京都大学, 1972, 工学博士

ISSUE DATE:

1972-01-24

URL:

<http://hdl.handle.net/2433/213808>

RIGHT:

氏 名	新 見 英 幸 にい み ひで ゆき
学 位 の 種 類	工 学 博 士
学 位 記 番 号	論 工 博 第 481 号
学 位 授 与 の 日 付	昭 和 47 年 1 月 24 日
学 位 授 与 の 要 件	学 位 規 則 第 5 条 第 2 項 該 当
学 位 論 文 題 目	Dynamics of Combined System of Gravitating Particles and Gas (重力を及ぼし合う粒子と気体の共存系の力学)
論 文 調 査 委 員	(主 査) 教 授 玉 田 珧 教 授 神 元 五 郎 教 授 桜 井 健 郎

論 文 内 容 の 要 旨

この論文は重力を及ぼし合う無衝突の粒子集団と気体との共存系の力学を理論的に研究したもので、緒言及び5章からなっている。

緒言では、このような系が、長距離粒子間力に支配されるという点でプラズマと類似性をもつにも拘わらず、まだそれ程研究されていないこと、粒子と気体が全く異なる種類の方程式に従うという点で力学的に興味深いこと、また天体物理学上で重要であること等を述べている。

第1章に於ては、急速に回転しながら重力を及ぼし合う無衝突の粒子集団の力学過程を記述する流体力学的方程式を導出している。まず、この様な粒子集団には微視的な基本空間尺度（粒子の相対円運動の半径）が存在することを示し、これと系の力学過程の巨視的空間尺度とで作られる無次元パラメタ N は又、粒子集団の平均速度に対する粒子の分散速度の割合となり、これが十分小さいものと仮定する。次に、粒子の速度分布関数、粒子集団の平均速度、及び重力ポテンシャル関数をこのパラメタ N で展開する新しい方法を用いることによって、閉じたモーメント方程式系を得ている。ここで得られた流体力学的方程式には、(i) 粒子集団の非一様回転のために非等方な圧力項があらわれ、(ii) 粒子集団の回転以外の運動によって剪断応力が発生することを明らかにし、さらに Lin 等の従来の流体力学的方程式との関係についても言及している。

第2章では、磁場中のプラズマの波動との類似性を考慮して、回転しつつ重力を及ぼし合う粒子集団に於ける密度波を、流体力学近似（圧力は等方的）の範囲内で非線型効果も考えて取り扱っている。波は粒子集団と共に回転する座標系内で回転軸と垂直に一定速度で伝播するものとし、波に固定した座標系では一次元的で定常であると仮定する。そしてまず密度波は重力、及び波に相対的な流体の流れによって維持されていることを明らかにし、次に流体力学方程式を用いて解析を行ない、結果を、波に相対的な流れの Mach 数、及び流量に関するパラメタ α に従って分類し、特に波に相対的な流れが超音速の場合には波列が得られ、又亜音速の場合には波列あるいは孤立波になることを示している。又、各々の型について密度

及び速度の分布を電子計算機によって計算し、結果を図示している。さらに、天体物理学への応用として、銀河系に於ける密度波との関係を簡単に論じている。

第3章では、回転し、重力を及ぼし合う無衝突の粒子集団に対する回転軸方向の重力不安定性を調べている。特に臨界波数と回転角速度及びその非一様性との関係を明らかにし、回転の非一様性が安定化の効果をもつことを示している。

第4章では、無衝突の粒子集団と気体及び磁場の共存系の不安定性について研究している。このとき、粒子集団は無衝突 Boltzmann 方程式に従い、気体は電磁流体力学方程式に従うものとし、また粒子と気体は重力場を通してのみ相互作用をするものと仮定する。そして気体が非等方な Maxwell 速度分布をもつ粒子集団と相対運動をしている時、この共存系の線型不安定性をプラズマ振動論と類似の手法によって調べている。すなわち、この系に加えられる微少攪乱の消長を定める分散関係式を求め、その特異点近傍の解析によって分散曲線を定めると共に、この系の不安定性の臨界波数は、磁場の存在及び粒子の非等方な速度分布によって非等方的になること、及び重力不安定性に対する古典的な Jeans の臨界波数の一般化になっていることを示している。又、粒子集団と気体との間に十分な相対速度がある場合には、この共存系はすべての波数に対して不安定になることを示し、特に磁場と平行な相対運動がある場合について、Mach 数と Alfvén Mach 数の平面上に不安定領域を図示している。なおこの理論を星間気体の乱流の問題に適用し、乱れの発生に星間気体と恒星系の相対運動が重要であることを指摘している。

第5章では、一様回転している重力を及ぼし合う無衝突粒子集団と気体との共存系の不安定性を Coriolis の力を考慮して論じている。微少攪乱の尺度が大きくなると、Coriolis の力が無視できなくなる一方、この様な場合には天体物理学への応用では、通常、磁場の影響は無視できることを述べ、前章との関係を明らかにすると共に、前章と同様な方法によって解析を進めている。その結果この共存系には古典的な Jeans の重力不安定性の外に、粒子の非等方速度分布に由来する不安定性が存在し、長波長攪乱に対するこの不安定条件は気体の存在によっては影響されないが、その成長率は気体があることによって減少することを示している。さらに、回転軸にほぼ垂直に伝播する短波長の攪乱に不安定性が存在すること、特にこの不安定性は、従来の Chandrasekhar 等の連続体的取り扱いでは予想できない種類のものであることを強調している。

論文審査の結果の要旨

この論文は互に重力で引き合いながら衝突することなく運動する粒子群の力学及びこのような粒子群の間に流体が充満している場合の力学を、気体の分子運動論と同様な統計的取り扱い及び流体力学的方法によって研究したものである。このような系は、粒子間の力が距離の逆自乗に比例するという点で、無衝突のプラズマや電子気体と同じであり、波動その他の基本現象に類似性が予期されると共に、力が引力であるという点で特有の現象も期待される。このような系の直接の応用は恒星の集団すなわち星雲内の力学現象の解明にあるが、又、電子気体の力学とは表裏の関係にある。しかし、本研究のような方向でこれらの問題の研究は世界的にも数少なく、未だ初期の段階にある。また、粒子群と気体が全く性質の異なる基礎方程式に従うという点で、力学的数学的にも興味深い系であるといえる。本研究の重要な内容と成果は次の

通りである。

(1) まず、全体として回転し乍ら、重力の作用のもとに衝突することなく個々に運動する粒子の集団を考え、粒子の速度分布を支配する Boltzmann 方程式と重力場の Poisson 方程式から、モーメントを作り、流体力学的方程式を導出している。その際、回転系内における粒子の円運動の半径と、系の当面の力学過程の空間尺度との比（これは同時に粒子の分散速度と平均速度との比になる）を十分小さいパラメータとして、速度分布関数、平均速度、重力ポテンシャル関数をこのパラメータで展開する方式によって、モーメント方程式系を閉じることに成功している。得られた流体力学的方程式は、系の非一様回転による非等方な圧力項、回転以外の運動による剪断力などの特徴をもつ。

(2) (1)のような粒子集団における密度波を、等方的な圧力を仮定した流体力学近似の範囲内で、非線型効果も考えて取り扱っている。これは磁場中の無衝突プラズマの波動と類似する問題である。重力の場合には、波に相対的な流れが超音速の場合に波列の解が得られ、亜音速の場合には波列或は孤立波になることを明らかにし、銀河系における密度波との関係を論じている。

(3) (2)の場合で系の回転軸方向に伝播する波の安定性を調べ、特に臨界波数と回転角速度との関係を求め、回転の非一様性が安定化の傾向をもつことを見出している。

(4) 前記の粒子群の間に電離気体が充満し、又、磁場が共存する場合の系内の波動、特に不安定性を調べている。このとき、粒子群は Boltzmann 方程式、気体は電磁流体力学方程式に従うものとし、粒子と気体は重力場を通してのみ相互作用をするものと仮定している。そしてこの共存系の微小振巾波の不安定性をプラズマ振動論と類似の手法によって解析した結果、臨界波数は、磁場及び粒子の非等方な速度分布によって非等方的になること、粒子群と気体との間に十分な相対速度があれば、この系はすべての波数に対して不安定になること等を示し、この理論によって星間気体の乱流の発生が説明できることを述べている。

(5) 一様回転している重力を及ぼし合う無衝突粒子群と気体との共存系の不安定性を Coriolis の力を考慮して論じている。これは(4)に於て微小攪乱の尺度が大きくなると Coriolis の力が無視できなくなる一方、磁場の影響は通常省略しうようになるためである。(4)と同様な解析を行なった結果、この系には古典的な Jeans の重力不安定の外に、粒子の非等方速度分布に由来する不安定が存在し、又、回転軸にはば垂直に伝播する短波長の波に不安定が起ることを見出している。これらの結果は Chandrasekhar 等の従来の連続体的取り扱いでは予想できないものである。

以上要するに、この論文は重力を及ぼし合う無衝突の粒子群及びその間を埋める気体からなる系の力学を Boltzmann 方程式を基礎として正統的に研究し、特に系内の波動とその不安定性を解明したもので、宇宙物理学のみならず、電離気体、電子気体の力学、粒子を含む気体の力学等にも関連し、その成果は学術上、応用上寄与する所が少なくない。

よって、本論文は工学博士の学位論文として価値あるものと認める。